



REC'D 29 JUL 2002

WIPO

PCT

Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi
Ufficio G2

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

N.

TO2002 A 000326

Invenzione Industriale



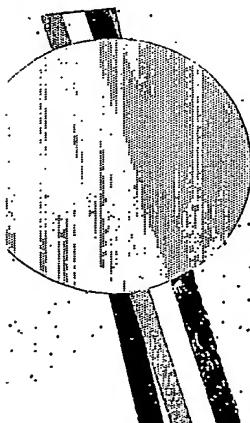
Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati risultano dall'acciuso processo verbale di deposito.

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Roma, il

10 LUG. 2002



IL DIRIGENTE

Sig.ra E. MARINELLI

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE

PROSPETTO A

NUMERO DOMANDA

2002 A 000326 REG. A

NUMERO BREVETTO

DATA DI DEPOSITO 12/04/2002

DATA DI RILASCIO 12/12/2002

A. RICHIEDENTE (I)

Denominazione Telecom Italia Lab S.p.A.
Residenza Torino - TO

D. TITOLO

"Procedimento e sistema per la schedulazione di una risorsa condivisa fra una pluralità di flussi di pacchetti di informazione"

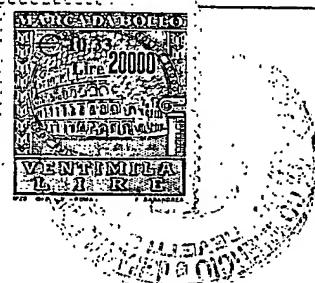
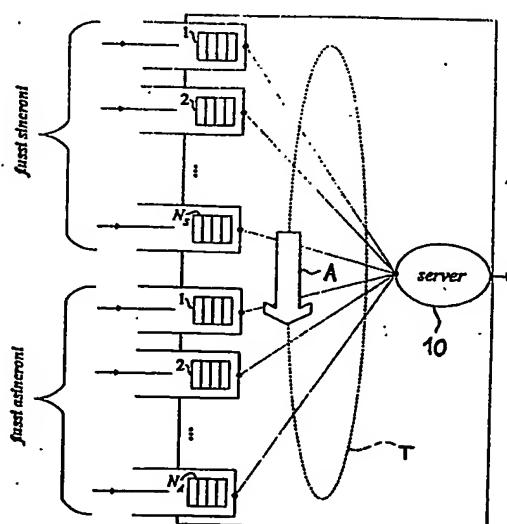
Classe proposta (sez./cl./sc.)

(gruppo/sottogruppo)

L. RIASSUNTO

A ciascun flusso sincrono ($i=1, 2, \dots, N_s$) viene associato un rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) a cui è legato il tempo per cui un flusso sincrono può essere servito prima di passare al successivo. Tale valore può essere scelto tanto secondo un criterio di allocazione locale quanto secondo un criterio di allocazione globale. A ciascun flusso asincrono ($i=1, 2, \dots, N_A$) vengono invece associati un primo rispettivo valore indicativo del ritardo da recuperare perché la rispettiva coda abbia diritto ad essere servita nonché un secondo rispettivo valore indicativo dell'istante in cui, nel precedente ciclo, il servente ha visitato la rispettiva coda. Ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (h) viene quindi servita per un tempo di servizio legato al suddetto valore di capacità sincrona, mentre ciascuna coda associata a un flusso asincrono (i) viene servita solo se la visita del servente avviene in anticipo rispetto all'istante atteso. Di preferenza la visita delle code sincrone da parte del servente (10) si realizza in due cicli successivi, così da ottimizzare lo sfruttamento delle risorse disponibili (Figura unica)

M. DISEGNO



G. C. A. ROMA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Procedimento e sistema per la schedulazione di una risorsa condivisa fra una pluralità di flussi di pacchetti di informazione"

di: Telecom Italia Lab S.p.A., nazionalità italiana, Via G. Reiss Romoli, 274 - Torino

inventori designati: Luciano LENZINI, Enzo MINGOZZI, Giovanni STEA, Enrico SCARRONE.

depositata il: 12 aprile 2002

10 2002 A 000326

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ai sistemi di comunicazione a pacchetto, ed in particolare ai criteri di schedulazione di una risorsa condivisa, cioè i criteri con cui viene di volta in volta scelto il pacchetto a cui assegnare la risorsa.

La soluzione secondo l'invenzione è stata sviluppata sia per schedulazioni di risorse radio (es: scheduling a livello di Medium Access Control o MAC), sia per schedulazione di risorse computazionali e trasmissive nei nodi di rete, ad esempio per la schedulazione di flussi con diversa qualità del servizio su router Internet Protocol (IP). La descrizione che segue si baserà (con intento puramente esemplificativo e dunque non

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OUIX
s.r.l.

limitativo della portata dell'invenzione) soprattutto su quest'ultimo esempio di applicazione.

La grande diffusione e la rapida evoluzione delle reti a pacchetto pongono già da alcuni anni il problema di integrare nelle cosiddette reti a servizi integrati i tradizionali servizi offerti dalle reti a pacchetto di vecchia generazione (posta elettronica, web surfing, etc.) con nuovi servizi un tempo riservati alle reti a commutazione di circuito (real-time video, telefonia etc.).

Sistemi come l'UMTS, ad esempio, per i quali è prevista una componente di rete fissa a pacchetto (core network), devono gestire contemporaneamente servizi dati e voce, ed offrire comunque il supporto allo sviluppo di nuovi servizi sia real-time che non-real-time.

Le reti a servizi integrati devono perciò essere in grado di gestire flussi di traffico con caratteristiche differenti e di offrire a ciascun tipo di flusso un'opportuna qualità di servizio, insieme di indici di prestazione negoziati tra utente e fornitore del servizio, che devono essere garantiti nei termini concordati.

Uno degli elementi chiave per fornire qualità di servizio è il sistema di schedulazione implementato sui nodi della rete, cioè il sistema

con cui viene di volta in volta scelto il pacchetto da trasmettere tra tutti quelli presenti sul nodo; tale sistema deve necessariamente coniugare le opposte caratteristiche di flessibilità, intesa come capacità di fornire differenti tipi di servizio; semplicità, caratteristica che ne rende possibile l'impiego in ambienti tali da richiedere elevate velocità di trasmissione e gestione di un numero molto elevato di flussi di trasmissione; ed efficacia nella utilizzazione della risorsa condivisa (ad esempio, il mezzo trasmittivo).

L'esigenza di assicurare un determinato livello di qualità di servizio (Quality of service o Qos) nelle reti a pacchetto è avvertita in misura sempre crescente, così come testimoniato, ad esempio dai documenti US-A-6 091 709, US-A-6 147 970 o EP-A-1 035 751.

In modo specifico, la presente invenzione nasce come sviluppo della soluzione descritta nella domanda di brevetto per invenzione industriale TO2000A001000 e nella corrispondente domanda PCT/IT 01/00536.

Tale precedente soluzione, si applica essenzialmente alla schedulazione di una risorsa di servizio condivisa tra una pluralità di flussi di pacchetti di informazione in una situazione in cui i

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OLIX
s.r.l.

flussi generano rispettive code associate e sono serviti tramite l'attribuzione, da parte del servente, di un permesso di trasmissione.

I flussi sono suddivisi in flussi sincroni, che richiedono garanzia di un tasso di servizio minimo, e flussi asincroni, destinati a sfruttare la capacità di servizio della risorsa lasciata inutilizzata dai flussi sincroni. La soluzione nota in questione prevede di:

- provvedere un servente che visita in cicli successivi le rispettive code associate ai flussi determinando un valore di tempo di rotazione (o "rivoluzione") atteso, denominato TTRT, identificativo del tempo necessario affinché il servente completi un ciclo di visita delle rispettive code,

- associare a ciascun flusso sincrono un rispettivo valore di capacità sincrona indicativo del tempo massimo per cui il rispettivo flusso sincrono può essere servito prima che venga revocato dal servente il permesso di trasmissione,

- associare a ciascun flusso asincrono un primo rispettivo valore (*lateness(i)*) di ritardo, identificativo del ritardo che deve essere ricuperato perché la rispettiva coda abbia diritto ad essere servita, nonché un secondo rispettivo

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OUIX
s.r.l.



valore (*last_token_time*) indicativo dell'istante in cui, nel precedente ciclo, il servente ha visitato la rispettiva coda determinando, per la rispettiva coda, il tempo trascorso dalla visita precedente del servente,

- servire ciascuna coda associata ad un flusso sincrono per un tempo di servizio massimo pari al suddetto rispettivo valore di capacità sincrona, e

- servire ciascuna coda associata ad un flusso asincrono solo se la visita del servente avviene in anticipo rispetto all'istante atteso, tale anticipo essendo determinato come differenza fra il suddetto valore di tempo di rotazione atteso (TTRT) ed il tempo trascorso dalla visita precedente del servente ed il ritardo accumulato.

Tale differenza, se positiva, definisce il tempo di servizio massimo per ciascuna coda associata ad un flusso asincrono.

La soluzione nota a cui si è fatto appena riferimento si è dimostrata del tutto soddisfacente dal punto di vista operativo. Le esperienze condotte dalla Richiedente hanno tuttavia permesso di comprendere che la stessa è suscettibile di ulteriori sviluppi e perfezionamenti, che costituiscono appunto lo scopo della presente invenzione.

Ciò vale in particolare per quanto riguarda i seguenti aspetti:

- la possibilità di offrire differenti tipi di servizio mantenendo un basso costo computazionale: caratteristica, questa, importante per le applicazioni a reti di calcolatori che debbano garantire qualità del servizio ai propri utenti, come appunto le reti IP in tecnica Intserv (Integrated Services, secondo specifica IETF) o Diffserv (Differentiated Integrated Services, secondo specifica IETF), ovvero per i sistemi di schedulazione di risorse radio come gli algoritmi di scheduling di livello MAC (sistemi W-LAN, servizi radiomobili di terza generazione);
- la possibilità di garantire per i traffici sincroni i bit rate dei vari flussi, il ritardo massimo di accodamento e l'occupazione massima dei buffer di ciascun flusso;
- la flessibilità, intesa come capacità di offrire contemporaneamente due diversi tipi di servizio, rate-guaranteed (adatto per flussi sincroni) e fair queueing (adatto per flussi asincroni), in particolare in reti ad integrazione di servizi;
- la possibilità di isolare i flussi di trasmissione, cioè rendere il servizio offerto ad un

singolo flusso indipendente dalla presenza e dal comportamento di altri flussi;

- la bassa complessità computazionale in termini di numero delle operazioni necessarie per scegliere di volta in volta il pacchetto da trasmettere; questa proprietà rende il sistema particolarmente adatto per ambienti in cui le velocità di trasmissione sono alte ed il numero di flussi presente è molto elevato, anche in vista di una possibile implementazione in hardware;

- la adattabilità, intesa come possibilità di far fronte ad un cambiamento dei parametri di funzionamento (ad esempio il numero di flussi presenti) ridistribuendo le risorse senza dover eseguire complesse procedure; e

- la descrivibilità analitica, ossia la possibilità di fornire una completa descrizione analitica del comportamento del sistema, così da poter mettere in relazione le misure di qualità del servizio con i parametri del sistema.

Un altro aspetto di rilievo è dato dall'equità, ossia dalla possibilità di trattare in maniera equa sia i flussi di trasmissione che ricevono un servizio rate-guaranteed, sia quelli che ricevono un servizio fair-queueing, offrendo a ciascuno un livello di servizio proporzionale a quello

richiesto, anche in presenza di pacchetti di lunghezza variabile.

La presente invenzione si prefigge appunto lo scopo di perfezionare ulteriormente la soluzione nota cui si è fatto riferimento in precedenza con specifica attenzione agli aspetti sopra menzionati.

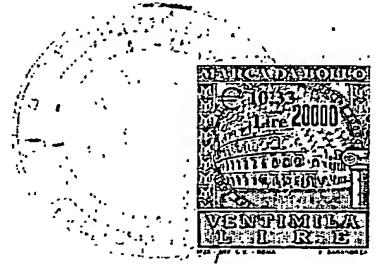
Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto con un procedimento di schedulazione avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono.

L'invenzione si riferisce anche al relativo sistema.

In sintesi, la soluzione secondo l'invenzione attua un sistema di schedulazione suscettibile di essere definita - con una denominazione introdotta in questa domanda - un servizio "a disciplina di servizio a pacchetto con token temporizzato", ossia, con terminologia anglosassone, Packet Timed Token Service Discipline o PTTSD.

Nella forma di attuazione al momento preferita, tale sistema di schedulazione è progettato per funzionare su un nodo di commutazione di una rete di calcolatori a pacchetto, in grado di multiplare su un singolo canale di trasmissione una pluralità di flussi di trasmissione.

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OLIX
s.r.l.



Il sistema offre due diversi tipi di servizio: servizio rate-guaranteed, adatto a flussi di trasmissione (d'ora in poi, "flussi sincroni") che richiedono garanzia di un tasso di servizio minimo, e servizio fair-queueing, adatto a flussi di trasmissione (d'ora in poi, "flussi asincroni") che, pur non necessitando di alcuna garanzia sul tasso minimo di servizio, traggono vantaggio dalla maggior disponibilità di capacità trasmissiva; per questi ultimi, il sistema fornisce comunque un'equa spartizione della capacità trasmissiva non utilizzata dai flussi sincroni.

Il traffico proveniente da ciascun flusso di trasmissione in ingresso al nodo viene inserito in una propria coda (potendosi così parlare di code sincrone od asincrone), da dove viene prelevato per essere trasmesso. Il servente visita le code seguendo un ordinamento ciclico fisso (ossia per successive "rivoluzioni") ed accordando a ciascuna coda ad ogni visita un tempo di servizio stabilito in base a precisi vincoli di temporizzazione.

Durante una rivoluzione, il servente inizialmente visita per due volte le code sincrone, effettuando un ciclo principale ed un ciclo secondario o di recupero, e successivamente passa a visitare le code asincrone.

L'invenzione sarà ora descritta, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento al disegno annesso, comprendente un'unica figura che descrive, a livello di schema a blocchi, i criteri di funzionamento di un sistema operante secondo l'invenzione.

Un sistema di schedulazione secondo l'invenzione è in grado di multiplare su un singolo canale di trasmissione una pluralità di flussi di trasmissione.

Il sistema offre due diversi tipi di servizio: un servizio rate-guaranteed, adatto a flussi di trasmissione (d'ora in poi, flussi sincroni i con $i = 1, 2, \dots, N_s$) che richiedono garanzia di un tasso di servizio minimo, ed un servizio best-effort, adatto a flussi di trasmissione (d'ora in poi, flussi asincroni j , con $j = 1, 2, \dots, N_A$) che non necessitano di alcuna garanzia sul tasso di servizio; per questi ultimi, il sistema fornisce comunque un'equa spartizione della capacità trasmissiva non utilizzata dai flussi sincroni.

Si suppone inoltre che N_s e N_A siano numeri interi non negativi e che ciascun flusso sincrono $i=1..N_s$ richieda un tasso di servizio pari a r_i , e che la somma dei tassi di servizio richiesti dai

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI DOULX
s.r.l.

flussi sincroni non ecceda la capacità del canale C ($\sum_{i=1}^{N_s} r_i \leq C$).

Il traffico proveniente da ciascun flusso di trasmissione in ingresso al nodo viene inserito in una propria coda (si parlerà quindi di code sincrone od asincrone), da dove viene prelevato per essere trasmesso. Il servente o server 10 visita le code seguendo un ordinamento ciclico fisso (rappresentato idealmente nella figura dei disegni dalla traiettoria T e dalla freccia A), accordando a ciascuna coda ad ogni visita un tempo di servizio stabilito in base a precisi vincoli di temporizzazione.

Il procedimento secondo l'invenzione prevede una fase di inizializzazione, a cui seguono le procedure cicliche di visita delle code. Tali procedure vengono discusse nel seguito.

Inizializzazione

Per prima cosa è necessario fornire al sistema le informazioni sulle condizioni di lavoro: quanti sono i flussi sincroni (in generale: N_s), qual è il tasso di trasmissione richiesto da ciascuno di questi, quanti sono i flussi asincroni, qual è il tempo di rotazione atteso (TTRT), cioè quanto tempo si vuole che duri un ciclo completo in cui il servente visita tutte le code.

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OULX
s.r.l.

Flussi sincroni

A ciascun flusso sincrono i , $i=1..N_s$, è associata, secondo un'opportuna politica di allocazione, una variabile H_i (capacità sincrona), che misura il tempo massimo per cui può essere trasmesso il traffico di un flusso sincrono prima di passare al successivo, ossia prima che venga revocato dal servente il permesso di trasmissione. Le politiche di allocazione possibili saranno descritte nel seguito. Ciascun flusso sincrono ha anche associata una variabile Δ_i , inizialmente nulla, che memorizza la quantità di tempo di trasmissione che un flusso ha a disposizione.

Flussi asincroni

A ciascun flusso asincrono j , $j=1..N_A$, vengono associate due variabili, L_j e $last_visit_time_j$; la prima variabile memorizza il ritardo che deve essere recuperato perché la coda asincrona j abbia diritto ad essere servita; la seconda variabile memorizza l'istante al quale, nel corso del precedente ciclo, il servente ha visitato la coda asincrona j . Tali variabili vengono rispettivamente inizializzate a zero ed all'istante di inizio della rivoluzione in corso quando il flusso viene attivato.

Questo modo di procedere consente di tenere in conto l'attivazione di flussi asincroni ad un

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OUIX
s.r.l.



istante qualsiasi, non necessariamente all'avviamento o startup del sistema.

Visita su una generica coda sincrona i , con $i = 1 \dots N_s$ durante il ciclo principale

Una coda sincrona può essere servita per un tempo pari al più al valore della variabile Δ_i . Tale variabile viene incrementata di H_i (valore deciso in fase di inizializzazione) quando la coda viene visitata nel ciclo principale, e decrementata del tempo di trasmissione di ogni pacchetto trasmesso.

Il servizio di una coda durante il ciclo principale termina quando o la coda è vuota (nel qual caso la variabile Δ_i viene resettata), o il tempo disponibile (rappresentato dal valore corrente di Δ_i) non è sufficiente a trasmettere il pacchetto che si trova in testa alla coda.

Visita su una generica coda sincrona i , $i = 1 \dots N_s$ durante il ciclo secondario

Durante il ciclo secondario (o di ricupero), una coda sincrona può trasmettere un solo pacchetto, purché la variabile Δ_i abbia un valore strettamente positivo. Se avviene una trasmissione, la variabile Δ_i viene decrementata del tempo di trasmissione.

Visita su una generica coda asincrona j , con $j = 1, \dots, N_A$

Una coda asincrona può essere servita soltanto se la visita del servente avviene in anticipo rispetto all'istante atteso. Per calcolare se la visita del servente è in anticipo, si sottrae dal tempo di rotazione atteso $TTRT$ il tempo trascorso dalla visita precedente ed il ritardo accumulato L_j .

Tale differenza, se positiva, costituisce il tempo per cui la coda asincrona j ha diritto ad essere servita, ed in questo caso la variabile L_j viene resettata.

Se la differenza risulta negativa, il servente è in ritardo, e quindi la coda j non può essere servita; in questo caso, il ritardo è memorizzato nella variabile L_j . Il servizio di una coda asincrona termina quando o la coda è vuota, o il tempo disponibile (che viene decrementato ad ogni trasmissione di pacchetto) non è sufficiente a trasmettere il pacchetto che si trova in testa alla coda.

Sequenza delle visite durante una rivoluzione

Durante una rivoluzione, viene eseguita una duplice scansione di tutte le code sincrone (ciclo principale e ciclo secondario), e successivamente vengono visitate le code asincrone. Il ciclo secondario ha termine all'istante in cui si verifica uno dei seguenti due eventi:

- l'ultima coda sincrona è stata visitata;
- è trascorso dall'inizio del ciclo principale un tempo pari o superiore alla somma delle capacità di tutte le code sincrone.

Garanzie analitiche

Le capacità sincrone sono legate al tempo atteso di rivoluzione $TTRT$ ed alla durata della trasmissione del pacchetto di lunghezza massima τ_{\max} dalla seguente diseguaglianza, che deve sempre essere verificata:

$$\sum_{i=1}^{N_s} H_i + \tau_{\max} \leq TTRT \quad (1)$$

Tasso minimo di trasmissione per i flussi sincroni

Nell'ipotesi (1), il sistema secondo la forma di attuazione qui illustrata garantisce che a ciascun flusso sincrono sia garantito il seguente tasso normalizzato di trasmissione:

$$\gamma_i = \frac{N_A + 1}{N_A + \sum_{h=1}^{N_s} X_h + \alpha} \cdot X_i$$

con:

$$X_i = H_i / TTRT$$

$$\alpha = \tau_{\max} / TTRT$$

ed è inoltre possibile garantire che, dato un qualunque intervallo di tempo $[t_1, t_2)$ in cui la generica coda sincrona i non è mai vuota, il tempo

di servizio $W_i(t_1, t_2)$ ricevuto dalla coda i in $[t_1, t_2)$

verifichi la seguente diseguaglianza:

$$\gamma_i \cdot (t_2 - t_1) - W_i(t_1, t_2) \leq \Lambda_i < \infty \quad (2)$$

dove:

$$\Lambda_i = \begin{cases} H_i \cdot (2 - \gamma_i) + (1 + \gamma_i) \cdot \tau_i & \text{se } H_i \geq \tau_i \\ \tau_i + 2 \cdot H_i & \text{se } H_i < \tau_i \end{cases}$$

e τ_i è il tempo di trasmissione del pacchetto di lunghezza massima per il flusso i .

La relazione (2) vista in precedenza stabilisce che il servizio fornito dal sistema del tipo qui descritto ad un flusso sincrono i non si discosta per più di Λ_i dal servizio che lo stesso flusso sperimenterebbe se fosse l'unico proprietario di un canale di trasmissione privato con una capacità pari a γ_i volte quella del canale gestito dal sistema secondo la forma di attuazione dell'invenzione qui illustrata. Λ_i rappresenta quindi la massima differenza di servizio rispetto ad una situazione ideale.

Un flusso sincrono può quindi essere caratterizzato da un parametro, detto latenza, così calcolato:

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OULX
s.r.l.



$$\Theta_i = \begin{cases} \left(2 + \frac{\tau_i}{H_i}\right) \frac{N_A TTRT + \tau_{\max} + \sum_{h \in S} H_i}{N_A + 1} + \tau_i - H_i, & \text{se } H_i \geq \tau_i \\ \left(2 + \frac{\tau_i}{H_i}\right) \frac{N_A TTRT + \tau_{\max} + \sum_{h \in S} H_i}{N_A + 1}, & \text{se } H_i < \tau_i \end{cases}$$

o, al limite per $N_A \rightarrow \infty$:

$$\Theta_i^* = \begin{cases} \left(2 + \frac{\tau_i}{H_i}\right) TTRT + \tau_i - H_i, & \text{se } H_i \geq \tau_i \\ \left(2 + \frac{\tau_i}{H_i}\right) TTRT, & \text{se } H_i < \tau_i \end{cases}$$

Dato un nodo di commutazione che implementa la soluzione qui descritta, se il traffico in ingresso ad un flusso sincrono su quel nodo è limitato da un cosiddetto "leaky-bucket" di parametri (σ, ρ) , è possibile fornire le seguenti garanzie:

a) Ritardo massimo su un singolo nodo per un flusso sincrono

Ogni pacchetto ha un ritardo non superiore a:

$$D = \sigma / \rho + \Theta_i$$

b) Massima occupazione di memoria su un nodo per un flusso sincrono

Lo spazio di memoria occupato dai pacchetti di un flusso sincrono è:

$$B = \sigma + \rho \Theta_i$$

c) Ritardo massimo su un percorso di N nodi per un flusso sincrono

Siano $\Phi_1 \dots \Phi_N$ N nodi di commutazione che implementano il sistema qui descritto; siano Θ_i^j le latenze calcolate su ciascuno dei nodi Φ_j , e sia:

$$\bar{\Theta}_i = \sum_{j=1}^N \Theta_i^j$$

In questo caso è possibile determinare un limite superiore al ritardo massimo nell'attraversamento degli N nodi da parte di un pacchetto, purché il traffico in ingresso al primo nodo sia limitato da un cosiddetto *leaky-bucket* di parametri (σ, ρ) ; tale limite è:

$$D_N = \sigma/\rho + \bar{\Theta}_i$$

In ognuna delle tre garanzie a), b), c), può essere impiegato il valore $\Theta_i^* \geq \Theta_i$; ciò consente di calcolare limiti che, pur essendo meno stringenti, non dipendono dal numero di flussi asincroni attivi.

Scelta dei parametri

La possibilità di garantire che i flussi sincroni ricevano un tasso di servizio minimo non inferiore a quello richiesto è subordinata ad una corretta scelta delle capacità sincrone H_i , $i=1..N_s$. Nell'ipotesi che ogni flusso sincrono i richieda un tasso minimo di trasmissione r_i , è necessario allocare le capacità sincrone in modo tale che sia verificata la seguente diseguaglianza:

$$\gamma_i \geq r_i/C \quad (3)$$

Nella soluzione qui descritta è possibile allocare le capacità sincrone secondo due diversi schemi, denominati rispettivamente allocazione locale ed allocazione globale.

Allocazione locale

Le capacità sincrone sono scelte come segue:

$$H_i = \frac{r_i \cdot TTRT}{C}$$

In tal modo, la diseguaglianza (1) è verificata qualora i tassi di trasmissione richiesti verifichino la seguente diseguaglianza:

$$\sum_{h=1}^{N_s} r_h / C \leq 1 - \alpha \quad (4)$$

Ad ogni flusso sincrono viene garantito un tasso normalizzato di servizio pari a:

$$\gamma_i = \frac{[N_A + 1] \cdot r_i / C}{N_A + \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C + \alpha} \quad (5)$$

Il valore di γ_i dato dall'espressione (5) verifica la diseguaglianza (3).

Allocazione globale

Secondo questo schema, che richiede che $N_A > 0$, le capacità sincrone sono scelte come segue:

$$H_i = \frac{(N_A + \alpha) \cdot r_i / C}{N_A + 1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C} \cdot TTRT$$

Anche per lo schema di allocazione globale la somma di tassi di trasmissione richiesti deve sottostare alla diseguaglianza (4). Se la (4) è

verificata, il tasso normalizzato di servizio di un flusso sincrono è $\gamma_i = r_i/C$.

Lo schema globale garantisce un miglior utilizzo della capacità trasmissiva del canale rispetto allo schema locale, in quanto a parità di condizioni di funzionamento alloca ai flussi sincroni una capacità minore, lasciando libera una maggior quantità di banda per le trasmissioni dei flussi asincroni.

D'altro canto, l'utilizzo di uno schema globale prevede che tutte le capacità sincrone siano ricalcolate ogni volta che il numero di flussi (sincroni o asincroni) presenti nel sistema cambia; l'utilizzo di uno schema locale, invece, consente di stabilire le capacità in modo indipendente dal numero di flussi presenti nel sistema.

Scelta di TTRT

Per quanto riguarda la scelta di $TTRT$ nella soluzione secondo l'invenzione è possibile fornire il seguente schema.

Dato un insieme di flussi sincroni i cui tassi richiesti di trasmissione verificano la disuguaglianza:

$$\sum_{h=1}^{N_s} r_h/C < 1$$

$TTRT$ deve essere scelto secondo la seguente disuguaglianza:

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI DOULX
s.r.l.



$$TTRT \geq \frac{\tau_{\max}}{1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C}$$

Lo pseudocodice riportato di seguito descrive in maniera analitica il comportamento di un sistema secondo l'invenzione.

Inizializzazione dei flussi

```
Sync_Flow_Init (synchronous flow i)
{
     $\Delta_i = 0$ ;
    Select_synchronous_bandwidth  $H_i$ ;
}

Async_Flow_Init (asynchronous flow j)
{
     $L_j = 0$ ;
    last_visit_timej = start_of_curr_revolution;
}
```

Visita su una generica coda sincrona i , $i = 1 \dots N_s$,
durante il ciclo principale

```
Major_Cycle_Visit (synchronous flow i)
{
     $\Delta_i += H_i$ ;
    q=first_packet_transmission_time;
    while (( $\Delta_i \geq q$ ) and ( $q > 0$ ))
    {
        transmit_packet (q);
         $\Delta_i -= q$ ;
        elapsed_time += q;
    }
    if ( $q=0$ )  $\Delta_i=0$ ;
}
```

Visita su una generica coda sincrona i , $i = 1 \dots N_s$,
durante il ciclo secondario

```
Minor_Cycle_Visit (synchronous flow i)
{
    q=first_packet_transmission_time;
    if ( $q > 0$ )
    {
        transmit_packet (q);
         $\Delta_i -= q$ ;
        elapsed_time += q;
    }
    if ( $q=0$ )  $\Delta_i=0$ ;
}
```

Visita su una generica coda asincrona j , $j = 1 \dots N_A$

```

Async_Flow_Visit (asynchronous flow j)
{
    t = current_time;
    earliness = TTRT-Lj - (t-last_visit_timej);
    if ( earliness > 0 )
    {
        Lj = 0;
        transmit_time = earliness;
        q=first_packet_transmission_time;
        while ((transmit_time>=q) and (q > 0))
        {
            transmit_packet (q);
            transmit_time -= q;
        }
    }
    else Lj = - earliness;
    last_visit_timej = t;
}

```

Sequenza delle visite durante una rivoluzione

```

PTTSD revolution ()
{
    elapsed_time=0;
    for (i=1 to NS) Major_Cycle_Visit (i);
    i = 1;
    while((elapsed_time<sum(HH)) and (i<=NS))
    {
        if (Δi>0) Minor_Cycle_Visit (i);
        i++;
    }
    for (j=1 to NA) Async_Flow_Visit (j);
}

```

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione.

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OUUX
s.r.l.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la schedulazione di una risorsa di servizio condivisa tra una pluralità di flussi di pacchetti di informazione che generano rispettive code associate, detti flussi comprendendo flussi sincroni ($i = 1, 2, \dots, N_s$) che richiedono garanzia di un tasso di servizio minimo (r_i) e flussi asincroni ($j = 1, 2, \dots, N_a$) destinati a sfruttare la capacità di servizio di detta risorsa lasciata inutilizzata dai flussi sincroni, il procedimento prevedendo l'impiego di un servente (10) e comprendendo le operazioni di:

- far visitare da detto servente (10) in cicli successivi le rispettive code associate a detti flussi (i, j) sulla base di un valore di tempo di rotazione atteso (TTRT) identificativo del tempo necessario affinché il servente (10) completi un ciclo di visita di dette rispettive code,

- associare a ciascun flusso sincrono (i) un rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) indicativo del tempo massimo per cui il rispettivo flusso sincrono può essere servito prima di passare al successivo,

- associare a ciascun flusso asincrono (j) un primo rispettivo valore (L_j) di ritardo identificativo del ritardo che deve essere

recuperato perché la rispettiva coda abbia diritto ad essere servita nonché un secondo rispettivo valore (*last_visit_time*) indicativo dell'istante in cui, nel precedente ciclo, il servente (10) ha visitato la rispettiva coda determinando, per detta rispettiva coda, il tempo trascorso dalla visita precedente del servente (10),

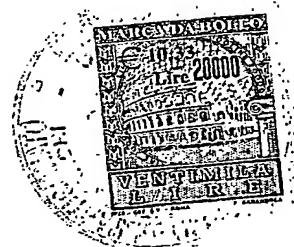
- servire ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i) per un tempo di servizio massimo legato a detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i), e

- servire ciascuna coda associata ad un flusso asincrono (j) solo se la visita del servente (10) avviene in anticipo rispetto all'istante atteso, detto anticipo essendo determinato come differenza fra detto valore di tempo di rotazione atteso (TTRT) ed il tempo trascorso dalla visita precedente del servente (10) ed il ritardo accumulato, detta differenza, se positiva, definendo il tempo di servizio massimo per ciascuna coda asincrona,

il procedimento comprendendo altresì l'operazione di definire detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) per la coda associata all'iesimo flusso sincrono soddisfacendo:

- i) le relazioni

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI DOULX
s.r.l.



$$\sum_{i=1}^{N_s} H_i + \tau_{\max} \leq TTRT$$

$$TTRT \geq \frac{\tau_{\max}}{1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C}$$

- ii) nonché almeno una delle seguenti relazioni

$$H_i = \frac{r_i \cdot TTRT}{C} \text{ e}$$

$$H_i = \frac{(N_A + \alpha) \cdot r_i / C}{N_A + 1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C} \cdot TTRT$$

dove:

- H_i è detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) per la coda associata all' i -esimo flusso sincrono,
- le sommatorie si estendono su tutti i flussi sincroni, pari a N_s ,
- N_A è il numero di detti flussi asincroni,
- τ_{\max} è la durata di servizio del pacchetto di lunghezza massima da parte di detta risorsa di servizio condivisa,
- $TTRT$ è detto valore di tempo di rotazione atteso,
- C è la capacità di servizio di detta risorsa di servizio condivisa,
- r_i è il tasso minimo di servizio richiesto dal flusso sincrono i -esimo, con $\sum_{h=1}^{N_s} r_h / C < 1$, e

- α è un parametro tale per cui $\sum_{h=1}^{N_s} r_h/C \leq 1 - \alpha$.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1,
caratterizzato dal fatto che, durante ciascuno di
detti cicli successivi, detto servente (10) esegue
una duplice scansione di tutte le code associate a
detti flussi sincroni ($i = 1, 2, \dots, N_s$) per poi
visitare successivamente le code associate a detti
flussi asincroni ($j = 1, 2, \dots, N_A$).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2,
caratterizzato dal fatto che comprende le operazioni
di:

- associare a ciascun flusso sincrono (i) un
ulteriore valore (Δ_i) indicativo della quantità di
tempo di servizio che il rispettivo flusso ha a
disposizione,

- durante un ciclo principale (*major cycle*) di
detta duplice scansione servire ciascuna coda
associata ad un flusso sincrono (i) per un tempo
pari al più a detto ulteriore valore (Δ_i), e

- durante un ciclo secondario o di ricupero
(*minor cycle*) di detta duplice scansione servire un
solo pacchetto di ciascuna coda associata ad un
flusso sincrono (i), purché detto ulteriore valore
(Δ_i) sia strettamente positivo.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3,
caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione

di incrementare detto ulteriore valore (Δ_i) di detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) quando la coda viene visitata durante il ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 3 o la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di decrementare detto ulteriore valore (Δ_i) del tempo di trasmissione di ogni pacchetto servito.

6. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 a 5, caratterizzato dal fatto che il servizio di ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i) durante il ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione termina quando è verificata una delle seguenti condizioni:

- la coda è vuota,
- il tempo disponibile, rappresentato da detto ulteriore valore (Δ_i), è insufficiente per servire il pacchetto in testa alla coda.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di resettare detto ulteriore valore (Δ_i) quando la rispettiva coda è vuota.

8. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 a 7, caratterizzato dal fatto che comprende, in presenza di un servizio reso durante

il ciclo secondario (*minor cycle*) di detta duplice scansione, l'operazione di decrementare del tempo di servizio detto ulteriore valore (Δ_i).

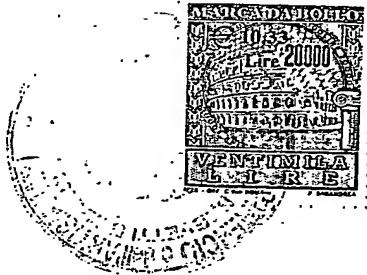
9. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 a 8, caratterizzato dal fatto che, durante detta duplice scansione di tutte le code associate a detti flussi sincroni (i), detto ciclo secondario (*minor cycle*) termina quando è soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- l'ultima coda associata ad un flusso sincrono (i) è stata visitata,
- dall'inizio di detto ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione è trascorso un tempo non inferiore alla somma delle capacità (H_i) di tutte le code associate a detti flussi sincroni (i).

10. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni 3 a 9, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di inizializzare a zero detto ulteriore valore (Δ_i).

11. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detta differenza risulti negativa, detta ciascuna coda associata ad un flusso asincrono (j) non viene servita ed il valore di

BUZZI, NOTARO &
ANTONELLI D'OUIX
s.r.l.



detta differenza viene accumulato con detto ritardo (L_j).

12. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 11, caratterizzato dal fatto che il servizio di una coda associata ad un flusso asincrono (j) termina quando è soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- la coda è vuota,
- il tempo disponibile è insufficiente a trasmettere il pacchetto che si trova in testa alla coda.

13. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 12, caratterizzato dal fatto che detto primo rispettivo valore (L_j) e detto secondo rispettivo valore ($last_visit_time$) vengono rispettivamente inizializzati a zero ed all'istante di inizio del ciclo in corso quando il flusso viene attivato.

14. Sistema per la schedulazione di una risorsa di servizio condivisa tra una pluralità di flussi di pacchetti di informazione che generano rispettive code associate, detti flussi comprendendo flussi sincroni ($i = 1, 2, \dots, N_s$) che richiedono garanzia di un tasto di servizio minimo e flussi asincroni ($j = 1, 2, \dots, N_A$) destinati a sfruttare la capacità di servizio di detta risorsa lasciata inutilizzata

dai flussi sincroni, il sistema comprendendo un servente (10) suscettibile di visitare in cicli successivi le rispettive code associate a detti flussi (i, j) ed essendo configurato per realizzare le operazioni di:

- determinare un valore di tempo di rotazione atteso (TTRT) identificativo del tempo necessario affinché il servente (10) completi un ciclo di visita di dette rispettive code,
- associare a ciascun flusso sincrono (i) un rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) indicativo del tempo massimo per cui il rispettivo flusso sincrono può essere servito prima di passare al successivo,
- associare a ciascun flusso asincrono (j) un primo rispettivo valore di ritardo (L_j) identificativo del ritardo che deve recuperato perché la rispettiva coda abbia diritto ad essere servita nonché un secondo rispettivo valore (last_visit_time) indicativo dell'istante in cui, nel precedente ciclo, il servente (10) ha visitato la rispettiva coda, determinando, per detta rispettiva coda, il tempo trascorso dalla visita precedente del servente (10),
- servire ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i) per un tempo di servizio massimo legato

a detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i),

e

- servire ciascuna coda associata ad un flusso asincrono (j) solo se la visita del servente (10) avviene in anticipo rispetto all'istante atteso, detto anticipo essendo determinato come differenza fra detto valore di tempo di rotazione atteso (TTRT) ed il tempo trascorso dalla visita precedente del servente (10) ed il ritardo accumulato, detta differenza, se positiva, definendo il tempo di servizio massimo per detta ciascuna coda asincrona,

il sistema essendo configurato definendo detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) per la coda associata all' i -esimo flusso sincrono in modo tale per cui sono soddisfatte:

- i) le relazioni

$$\sum_{i=1}^{N_s} H_i + \tau_{\max} \leq TTRT$$

$$TTRT \geq \frac{\tau_{\max}}{1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C}$$

- ii) nonché almeno una delle seguenti relazioni

$$H_i = \frac{r_i \cdot TTRT}{C} \text{ e}$$

$$H_i = \frac{(N_A + \alpha) \cdot r_i / C}{N_A + 1 - \sum_{h=1}^{N_s} r_h / C} \cdot TTRT$$

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OUUX
s.r.l.

dove:

- H_i è detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) per la coda associata all' i -esimo flusso sincrono,
- le sommatorie si estendono su tutti i flussi sincroni, pari a N_s ,
- N_A è il numero di detti flussi asincroni,
- τ_{max} è la durata di servizio del pacchetto di lunghezza massima da parte di detta risorsa di servizio condivisa,
- TTRT è detto valore di tempo di rotazione atteso,
- C è la capacità di servizio di detta risorsa di servizio condivisa,
- r_i è il tasso minimo di servizio richiesto dal flusso sincrono i -esimo, con $\sum_{h=1}^{N_s} r_h / C < 1$, e
- α è un parametro tale per cui $\sum_{h=1}^{N_s} r_h / C \leq 1 - \alpha$.

15. Sistema secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che, durante ciascuno di detti cicli successivi, detto servente (10) esegue una duplice scansione di tutte le code associate a detti flussi sincroni ($i = 1, 2, \dots, N_s$) per poi visitare successivamente le code associate a detti flussi asincroni ($j = 1, 2, \dots, N_A$).

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OULX

s.r.l.



16. Sistema secondo la rivendicazione 15,
caratterizzato dal fatto che:

- a ciascun flusso sincrono (i) è associato un ulteriore valore (Δ_i) indicativo della quantità di tempo di servizio che il rispettivo flusso ha a disposizione,

- durante un ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i) è servita per un tempo pari al più a detto ulteriore valore (Δ_i), e

- durante un ciclo secondario o di ricupero (*minor cycle*) di detta duplice scansione il sistema serve un solo pacchetto di ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i), purché detto ulteriore valore (Δ_i) sia strettamente positivo.

17. Sistema secondo la rivendicazione 16,
caratterizzato dal fatto che detto ulteriore valore (Δ_i) è incrementato di detto rispettivo valore di capacità sincrona (H_i) quando la coda viene visitata durante il ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione.

18. Sistema secondo la rivendicazione 16 o la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detto ulteriore valore (Δ_i) è decrementato del tempo di trasmissione di ogni pacchetto servito.

19. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 16 a 18, caratterizzato dal fatto che il sistema è configurato in modo che il servizio di ciascuna coda associata ad un flusso sincrono (i) durante il ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione termina quando è verificata una delle seguenti condizioni:

- la coda è vuota,
- il tempo disponibile, rappresentato da detto ulteriore valore (Δ_i), è insufficiente per servire il pacchetto in testa alla coda.

20. Sistema secondo la rivendicazione 19, caratterizzato dal fatto che detto ulteriore valore (Δ_i) è resettato quando la rispettiva coda è vuota.

21. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 16 a 20, caratterizzato dal fatto che, in presenza di un servizio reso durante il ciclo secondario (*minor cycle*) di detta duplice scansione, detto ulteriore valore (Δ_i) è decrementato del tempo di servizio.

22. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 16 a 21, caratterizzato dal fatto che, durante detta duplice scansione di tutte le code associate a detti flussi sincroni (i), detto ciclo secondario (*minor cycle*) termina quando è soddisfatta una delle seguenti condizioni:

- l'ultima coda associata ad un flusso sincrono
(i) è stata visitata,

- dall'inizio di detto ciclo principale (*major cycle*) di detta duplice scansione è trascorso un tempo non inferiore alla somma delle capacità (H_i) di tutte le code associate a detti flussi sincroni (i).

23. Sistema secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni 16 a 22, caratterizzato dal fatto che detto ulteriore valore (Δ_i) è inizializzato a zero.

24. Sistema secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni 16 a 23, caratterizzato dal fatto che, nel caso in cui detta differenza risulti negativa, detta ciascuna coda associata ad un flusso asincrono (j) non viene servita ed il valore di detta differenza viene accumulato con detto ritardo (L_j).

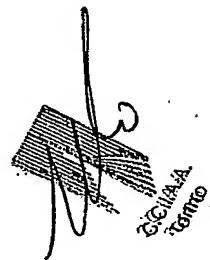
25. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 14 a 24, caratterizzato dal fatto che il servizio di una coda associata ad un flusso asincrono (j) termina quando è soddisfatta una delle seguenti condizioni:

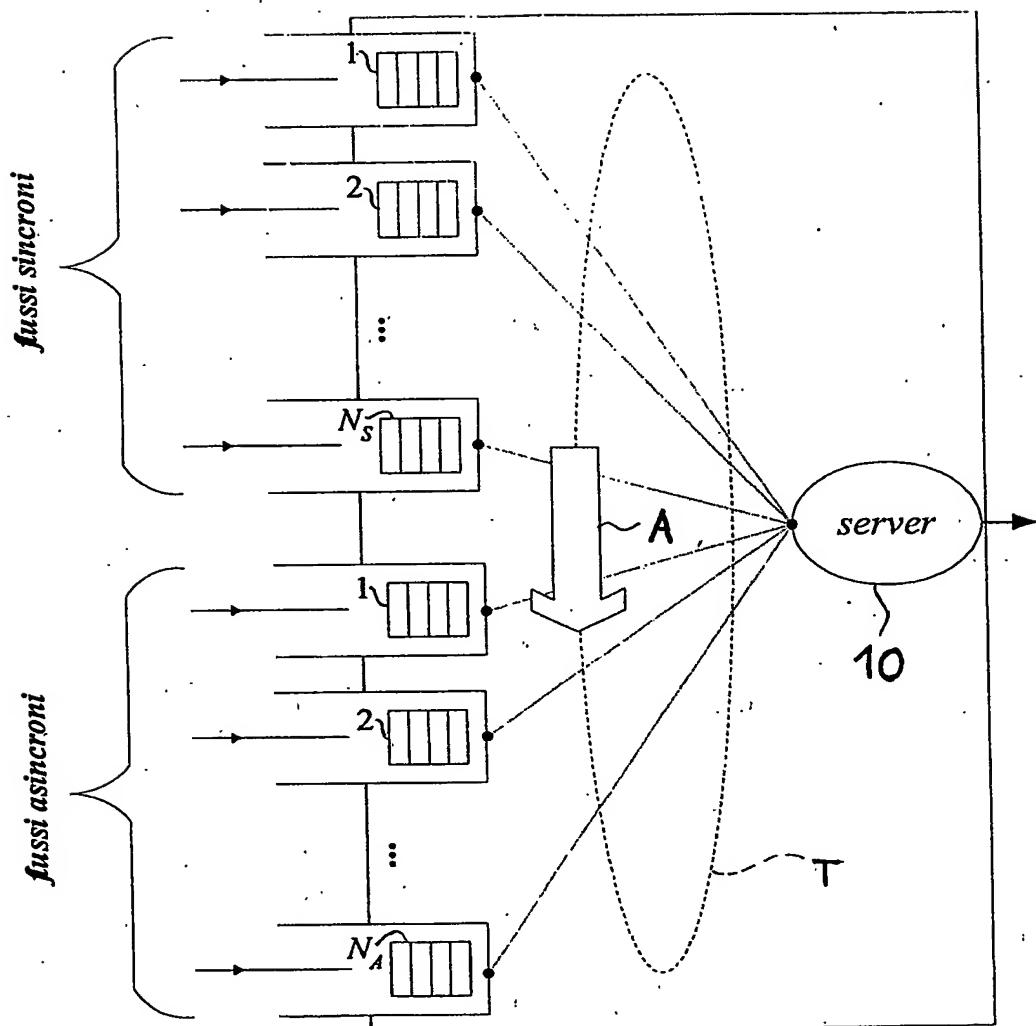
- la coda è vuota,

- il tempo disponibile è insufficiente a trasmettere il pacchetto che si trova in testa alla coda.

26. Sistema secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 14 a 25; caratterizzato dal fatto che detto primo rispettivo valore (L_j) e detto secondo rispettivo valore (*last_visit_time*) vengono rispettivamente inizializzati a zero ed all'istante di inizio del ciclo in corso quando il flusso viene attivato.

1
Ing. Luciano BOSOTTI
N. Iscriz. ALBO 260
in proprio e per gli altri





CCIAA
Torino

Ing. Luciano POSSETTI
N. iscriz. ALBO 260
In proprio e per gli altri

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.